

# 通海台磁通门地磁记录仪基线值日变化现象

张 福, 王锡军

(通海地磁台, 云南 通海 652700)

**摘 要:**通过对通海地磁台 2009 年到 2012 年地磁记录日变化准确度标定及基线值数据的精度、稳定性和变化形态的分析, 结合观测日所产地磁总强度数据的 F-P 检验结果, 研究基线值随地磁日变化的变化情况。结果表明, 通海台 M15(FGE 磁通门)磁力仪的  $Z_B$ 、GM4 磁通门磁力仪的  $H_B$  与地磁场的日变化具有一定的相关性, 存在日变化现象。

**关键词:** 绝对观测; 日变化标定; 基线值; F-P 检验

**中图分类号:** P315.9

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1673-8047(2013)01-0036-07

## 0 引言

在数字化地磁观测中, 相对记录仪器的性能, 特别是其稳定性和可靠性有了极大的提高, 而绝对观测仍需人工进行。为了保证相对观测记录基线值的观测精度, 需要对相对记录仪器记录的地磁日变化准确度及仪器的特性有所了解, 灵活掌握好绝对观测时间, 以获得高精度的观测数据。

受探头轴向正交度、格值线性度、安装定向准确度和稳定性、温度稳定性和温度变化等因素影响, 地磁相对记录仪器记录的地磁日变化与真实日变化之间有一定误差, 并且每个台站和每套仪器的误差均不相同。因此, 地磁台站需要定期进行地磁相对记录仪器的标定, 定量考察地磁记录仪器记录的地磁日变化的准确程度, 以利于确定台站绝对观测的合适时间段及数据的研究应用。

## 1 通海台的地磁观测仪器

绝对观测的仪器是由匈牙利产 MINGEO DIM 磁通门经纬仪和加拿大产 GSM-19F 型 OVERHAUSER 质子旋进式磁力仪, 仪器参数见表 1; 用于进行相对记录的仪器是丹麦产的 FGE 型悬挂式数字磁通门磁力仪, 及中国地震局地球物理研究所研制的 GM4 型数字磁通门磁力仪, 仪器参数见表 2。由 MINGEO DIM 磁通门磁力仪与

OVERHAUSER 质子旋进式磁力仪构成 D、I、F 绝对观测, 实现对 M15(FGE 型悬挂式数字磁通门磁力仪)、GM4 磁力仪基线值的测量和控制。FHDZ-M15 地磁总场与分量组合观测系统(FGE 型悬挂式数字磁通门磁力仪 + GSM-19F 型 OVERHAUSER 质子旋进式磁力仪)简称 M15 磁力仪。

## 2 地磁日变化记录准确度标定分析

地磁台站观测系统的基本组成是绝对观测仪器和相对记录仪器。相对记录仪器能以足够高的幅度和时间分辨率长期、连续地自动记录地磁三要素的相对变化值。绝对观测仪器定期进行地磁三要素的绝对值测量, 定出相对记录仪器的基线值, 达到既控制记录仪的工作状态, 又将所记录的相对变化值转化为绝对值的目的。因此, 在地磁台站系统中, 基线值是沟通相对记录和绝对观测的桥梁, 也是表征地磁台站工作状态的重要参数。磁场平静时, 观测精度比较高; 磁场扰动较大时, 绝对观测误差较大。相对记录仪器工作状态不稳定, 绝对观测误差等问题都会反映在基线值上反映出来<sup>[1]</sup>。通常情况下, 用标准偏差和变化幅度来衡量基线值的精度和稳定性, 标准偏差是个综合参数, 既反映仪器工作状态好坏, 也反映观测误差大小<sup>[2]</sup>。

收稿日期: 2012-12-14

作者简介: 张福(1968—), 男, 云南通海人, 本科, 工程师, 主要从事地磁观测工作。

表 1 绝对观测仪器主要技术参数  
Table 1 Main Technical Parameters of Absolute Observation Instrument

仪器	MINGEO - DIM 磁通门经纬仪	FHDZ - M15 组合观测系统 (GSM - 90F1 OVERHAUSER 磁力仪)
主要技术参数	测定地磁场偏角 D、倾角 I G 型单轴磁通门磁力仪 动态范围:用户指定 分辨力: 0.1 nT 经纬仪 (THEO 010B) 分辨力: 2cc(0.648") 度盘:直读 2cc	测量地磁场总强度: F 测量范围: 20,000 nT ~ 120,000 nT 分辨力: 0.01 nT 绝对精度: 0.2 nT 最小采样间隔: 0.2 秒 工作温度: -40℃ ~ +60℃ 湿度: 小于 90%, 不凝结

表 2 相对观测仪器主要技术参数  
Table 2 Main Technical Parameters of Relative Observation Instrument

仪器	FHDZ - M15 组合观测系统 (FGE 磁通门磁力仪)	GM4 磁通门磁力仪
主要技术参数	测量地磁场分量: D、H、Z 动态范围: 用户指定 分辨力: 0.1 nT 长期基线漂移: < 3 nT/年 温度系数: < 0.25 nT/℃ 采样率: 1 次/秒 工作温度: 0℃ ~ +40℃	测量地磁场分量: D、H、Z 动态范围: 0 ~ ± 2,500 nT 分辨力: 0.1 nT 温度系数: 小于 1 nT/℃ 采样率: 1 次/秒 工作温度: 0℃ ~ +40℃ 湿度: 小于 80%

2.1 地磁日变化记录准确度的标定方法

通海台每年选定一天在世界时 00:00 时至 10:00 时,每隔 1 小时,且在每小时时段前 30 分钟进行一次绝对观测,每次观测取得 2~3 组有效数据,每组数据观测时间控制在 8~10 分钟。通过比较绝对观测值与相对记录值差值,也就是基线值的变化,来定量估计地磁日变化记录的准确度。因此对地磁日变化记录标定数据的分析即是对标定日连续多组基线值观测数据的分析。频繁进行加密绝对观测是不可行的,因此这种标定方法实际上是抽样标定,在不同的磁场扰动情况下可能有不同的标定结果。

2.2 地磁日变化记录准确度分析

为了比较真实的反应观测过程中基线值的变化,以及观测误差大的数据分布情况,直接使用实测基线值。将基线值  $D_b$ 、 $H_b$ 、 $Z_b$  三分量观测数据、相对记录预处理分钟值数据绘制图件,进行对比分析(图 1)。图中纵坐标  $D_b$  的单位为分,  $H_b$ 、 $Z_b$  的单位为 nT,横坐标代表时间,以小时为单位。这里主要对基线值与地磁场的变化形态及变化幅度进行对比分析,为了使图形直观、明了,每组基线值数据减去其均值;代表地磁场变化的相对记

录预处理分钟值数据也减去其均值,分钟值数据为 M15 磁力仪记录值。

图 1 为标定时段基线值数据与相应时段地磁场分钟值数据,(a)为 M15 磁力仪基线值;(b)为 GM4 磁力仪基线值;(c)为相对记录地磁场分钟值数据。

从图 1 可以看出,M15 磁力仪基线值  $D_b$ 、 $H_b$  变化幅度不大,变化趋势为一近似直线,与地磁场日变化无明显的相关性; $Z_b$  则随地磁场日变化起伏,2011 年 10 月 12 日的数据尤为明显,起伏较大;四次标定的基线值  $Z_b$  具有一定的变化形态,与地磁场 Z 分量日变化形态相反。

GM4 磁力仪基线值  $D_b$  变化幅度不大、 $Z_b$  虽然有一定的变化幅度,它们却没有明显的变化形态,其变化趋势也为一近似直线,与地磁场日变化无明显的相关性; $H_b$  则随地磁场日变化起伏,变化幅度较为明显,与地磁场 H 分量日变化形态相似。

表 3、表 4 分别为 M15、GM4 磁力仪基线值标准偏差、变化幅度及记录地磁场变化幅度。从表中可见,四次观测两套磁力仪基线值的观测误差均很小,M15 磁力仪基线值  $\sigma D \leq 0.02'$ 、 $\sigma H \leq$

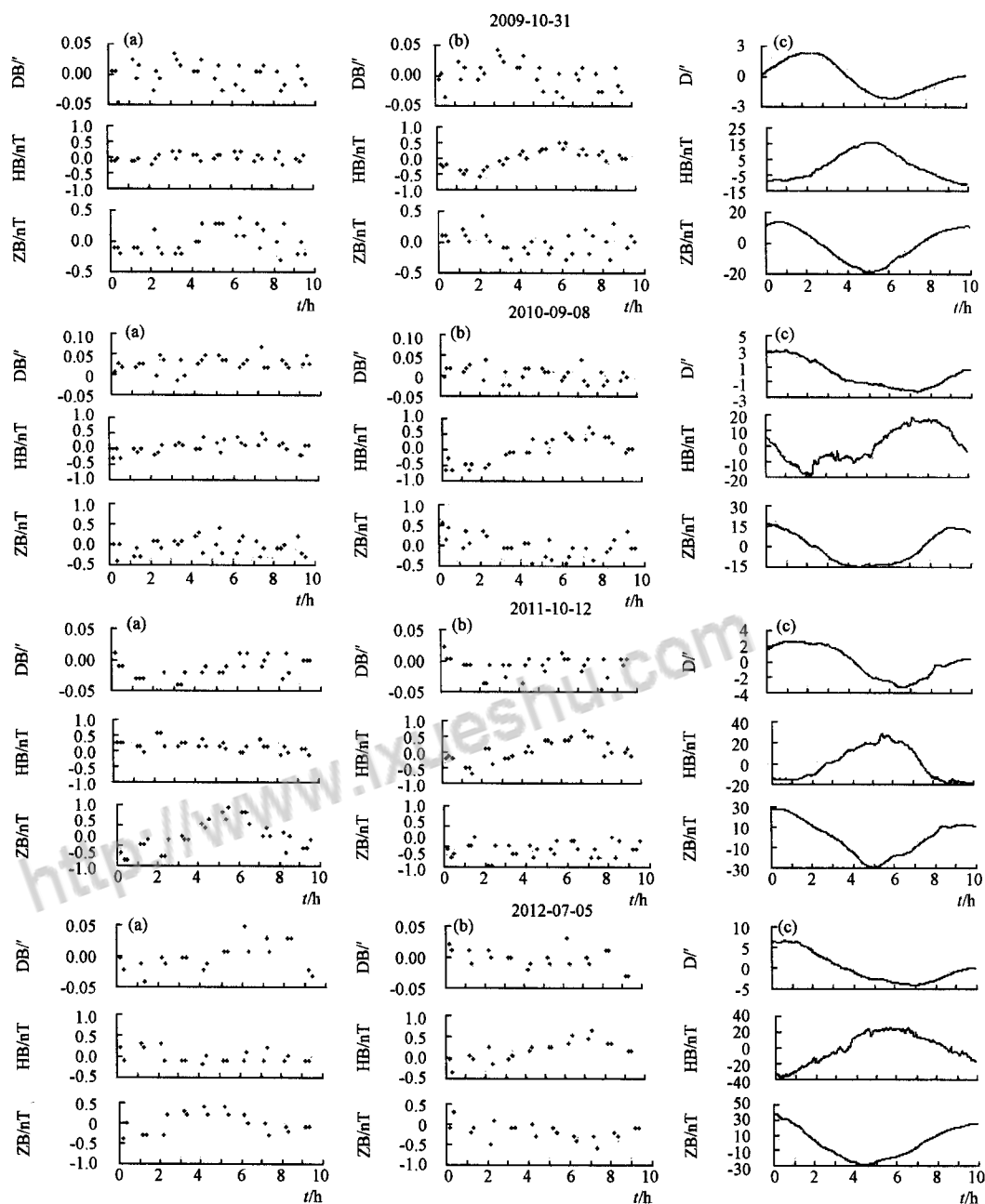


图 1 标定时段基线值数据与相应时段地磁场分钟值数据对比分析

Fig. 1 Data Comparative Analysis of Calibration Period Baseline Value Data and the Corresponding Time Geomagnetic Minute Value

0.20 nT,  $\sigma Z \leq 0.37$  nT; GM4 磁力仪基线值  $\sigma D \leq 0.02'$ ,  $\sigma H \leq 0.41$  nT,  $\sigma Z \leq 0.28$  nT; 均满足《数字地磁台网观测资料质量评比办法》 $\sigma D \leq 0.10'$ ,  $\sigma H \leq 1.0$  nT,  $\sigma Z \leq 1.0$  nT 的要求。在整个标定时段内 M15 磁力仪  $D_B$  变化幅度不超过  $0.09'$ ,  $H_B$  不超过  $0.8$  nT; GM4 磁力仪  $D_B$  变化幅度不超过  $0.08'$ ,  $Z_B$  有三次不超过  $0.9$  nT, 2010 年 09 月 08 日

因观测时段地磁场扰动较大(表 5), 观测误差较大,  $Z_B$  变化幅度达到  $1.1$  nT。从 4 年的标定结果看, M15 磁力仪  $Z_B$  变化幅度均达到或超过  $0.7$  nT; GM4 磁力仪  $H_B$  变化幅度均达到或超过  $1.0$  nT, 变化幅度明显。

M15 磁力仪  $Z_B$ 、GM4 磁力仪  $H_B$  变化幅度与地磁场变化幅度有关。2011 年 12 月 05 日后两

套磁力仪搬迁到重新改造好的新相对记录室工作,之前均在“九五”记录室工作,2012 年 07 月 05 日的观测数据为仪器在新相对记录室工作的观测结果,记录仪器搬迁、重新架设及观测环境改变,可能会改变记录仪器基线值与地磁日变化的相关程度。

表 3 M15 磁力仪基线值标准偏差、变化幅度及记录地磁场变化幅度

Table 3 Standard Deviation of M15 Magnetometer Baseline Value, Variation and the Recorded Variation Range of Geomagnetic Field

标定日期	基线值标准偏差			基线值变化幅度			地磁场变化幅度		
	D <sub>B</sub>	H <sub>B</sub>	Z <sub>B</sub>	ΔD <sub>B</sub>	ΔH <sub>B</sub>	ΔZ <sub>B</sub>	ΔD	ΔH	ΔZ
2009-10-31	0.02	0.12	0.21	0.08	0.4	0.7	4.54	26.7	32.5
2010-09-08	0.02	0.20	0.20	0.08	0.8	0.8	5.38	37.7	31.7
2011-10-12	0.02	0.17	0.37	0.07	0.7	1.3	5.94	47.7	57.8
2012-07-05	0.02	0.15	0.24	0.09	0.5	0.8	10.84	62.6	66.4

表 4 GM4 磁力仪基线值标准偏差、变化幅度及记录地磁场变化幅度

Table 4 Standard Deviation of GM4 Magnetometer Baseline Value, Variation and the Recorded Variation Range of Geomagnetic Field

标定日期	基线值标准偏差			基线值变化幅度			地磁场变化幅度		
	D <sub>B</sub>	H <sub>B</sub>	Z <sub>B</sub>	ΔD <sub>B</sub>	ΔH <sub>B</sub>	ΔZ <sub>B</sub>	ΔD	ΔH	ΔZ
2009-10-31	0.02	0.29	0.17	0.08	1.1	0.7	4.52	26.5	31.9
2010-09-08	0.02	0.41	0.28	0.06	1.4	1.1	5.35	37.0	31.0
2011-10-12	0.02	0.34	0.18	0.07	1.4	0.7	5.93	47.5	56.9
2012-07-05	0.01	0.24	0.20	0.06	1.0	0.9	10.79	61.9	65.6

表 5 标定时段 K 指数

Table 5 K-index of Calibration Period

标定日期	0—3 时	3—6 时	6—9 时	9—12 时
2009-10-31	2	2	0	0
2010-09-08	3	2	2	3
2011-10-12	2	2	3	1
2012-07-05	4	3	2	4

四次地磁日变化记录准确度标定,基线值观测质量较好,绝对观测不存在问题。两套记录仪器各分量基线值变化形态与地磁场日变化的对比结果均比较一致,M15 磁力仪 Z<sub>B</sub>、GM4 磁力仪 H<sub>B</sub> 与地磁场日变化具有一定的相关性,其他基线值与地磁场日变化并无明显相关性。

3 F-P 检验

3.1 F-P 检验方法

F 是 M15 磁力仪或 GM4 磁力仪记录值由经基线值改正后的 H、Z 分量计算出的总强度 F。F 计算过程为:H = H 记录值 + H<sub>B</sub>(采用基线值)

Z = Z 记录值 + Z<sub>B</sub>(采用基线值)

$$F = \sqrt{H^2 + Z^2}$$

其中,采用基线值在一天之内是一个恒定值。P 是由 OVERHAUSER 质子旋进磁力仪直接连续测量的地磁场绝对总强度 F,此 F 值是独立于基线值测量的绝对观测中的总强度测量的,与相对记录仪器无关。通过二者的差值对比,检测相对记录仪器运行状态的稳定性和绝对观测的稳定性。

利用 OVERHAUSER 磁力仪进行此 F(P)记录的意义是更严密地进行资料质量监控,一般而言,OVERHAUSER 磁力仪记录数据信噪比高,工作稳定,OVERHAUSER 磁力仪是观测地球磁场的标准仪器,它在足够宽的温度范围内,保有 0.01 nT 的分辨率和 0.2 nT 的绝对观测精度;为

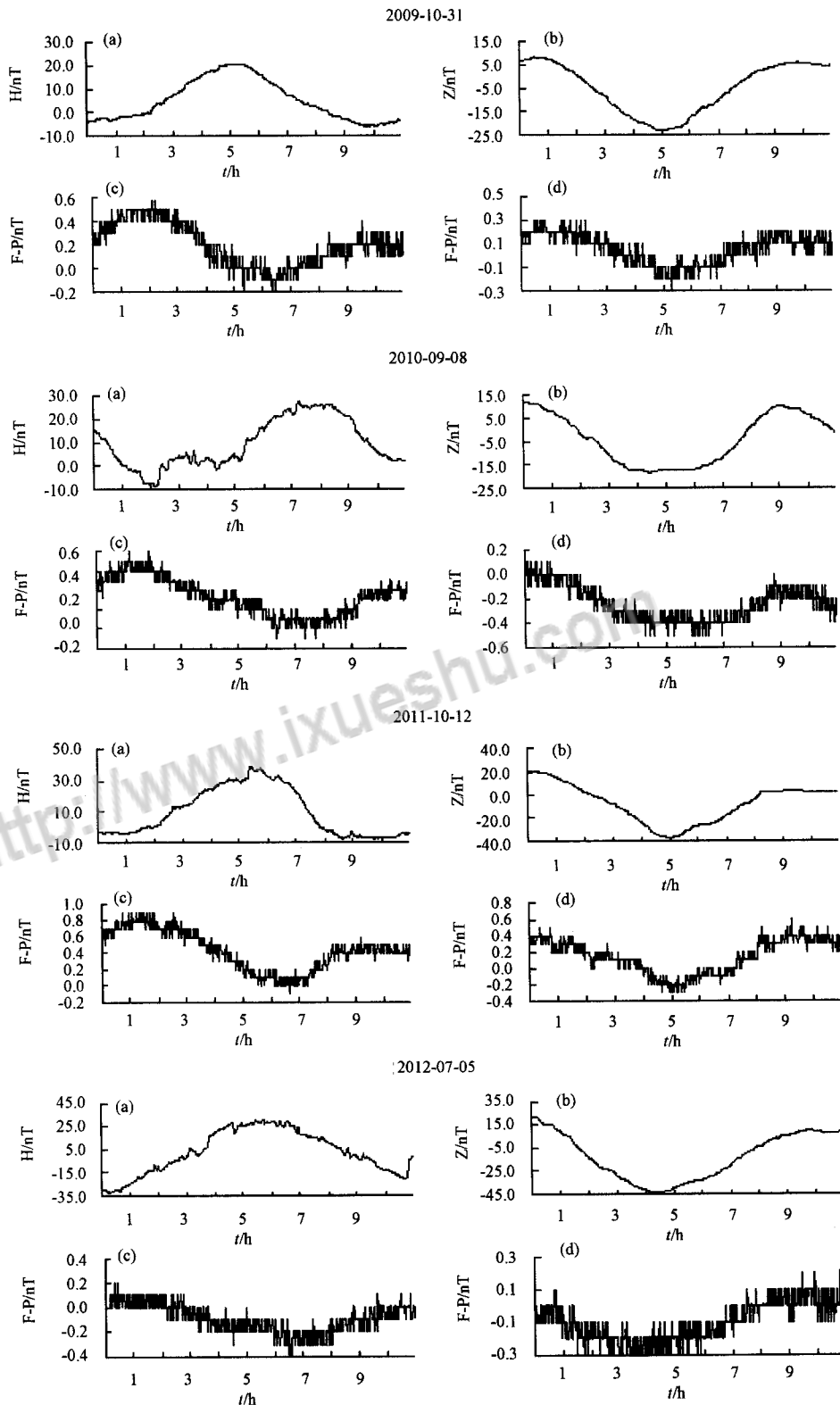


图 2 标定时段 F-P 值和相应时段地磁场分钟值数据图

Fig. 2 F-P Value of Calibration Period and Minute Value Data Diagram of Geomagnetic Field in the Corresponding Time

监视数字化记录的短期准确度提供了技术手段。

F 和 P 的产出时间同步,并都通化到了台站的标准墩上。由于它们代表的是同一地点同一时间的地磁场总强度值,因此,在理想情况下,F-P 的值应接近于零,F-P 曲线应是在零附近小幅度变化的一近似直线。其变化状态反映了地磁台站绝对观测对相对记录仪器观测数据的控制水平。F-P 可以表示在相邻两次基线值测量之间的分量测值的准确程度。在数字化记录中,随着记录仪器的灵敏度提高,对测值的准确度的要求也相应提高<sup>[3]</sup>。

### 3.2 F-P 检验结果

图2是标定时段F-P值和相应时段地磁场分钟值数据图。图中纵坐标代表F-P的值,单位为nT,横坐标代表时间,以小时为单位。这里只是为了比较F-P的值和地磁场日变化的相关性,代表地磁场变化的相对记录预处理分钟值数据也减去其均值,分钟值数据为M15磁力仪记录值。(a)为地磁场H分量分钟值数据;(b)为地磁场Z分量分钟值数据;(c)为GM4磁力仪F减P值;(d)为M15磁力仪F减P值。

从图2可以看到GM4磁力仪的F-P曲线变化并非一近似直线,而是随地磁场H分量日变化波动,形态与地磁场H分量日变化形态相反;M15磁力仪的F-P曲线变化也并非一近似直线,随地磁场Z分量日变化波动,与地磁场Z分量日变化趋势一致。

GM4磁力仪的F-P曲线变化主要与地磁场H分量日变化形态相关,是由于GM4磁力仪 $H_b$ 与地磁场H分量日变化具有一定的相关性,而且变化趋势一致,而计算得到的地磁总强度F不能反应出这一特性,计算过程中 $H_b$ 是一个恒定值;F-P曲线就显示出这种特性。

M15磁力仪的F-P曲线变化主要与地磁场Z分量日变化形态相关,是由于M15磁力仪 $Z_b$ 与地磁场Z分量日变化具有一定的相关性,而且形态相反,而计算得到的地磁总强度F不能反应出这一特性,计算过程中 $Z_b$ 是一个恒定值;F-P曲线就显示出上述的特性。

F-P值与基线值的变化幅度有很好的对应关系,基线值变化幅度越大,F-P值的变化幅度就越大。GM4磁力仪 $H_b$ 变化幅度越大,GM4磁力仪的F-P值变化幅度就越大;M15磁力仪 $Z_b$

变化幅度小,M15磁力仪的F-P值变化幅度就小。

通海台GM4磁力仪记录的H分量地磁日变化及M15磁力仪记录的Z分量地磁日变化与真实日变化之间有一定误差。尽管误差不大,但在高精度的地磁观测中仍能明显的显示出来。

## 4 讨论与结论

(1)四次观测两套磁力仪D、H、Z三分量观测基线值的测量误差较小,实测M15磁力仪基线值 $\sigma D \leq 0.02'$ 、 $\sigma H \leq 0.20$  nT、 $\sigma Z \leq 0.37$  nT;GM4磁力仪基线值 $\sigma D \leq 0.02'$ 、 $\sigma H \leq 0.41$  nT、 $\sigma Z \leq 0.28$  nT。在整个观测时段内,基线值观测质量较好。

(2)四次地磁日变化记录准确度标定基线值数据及F-P检验均表明通海台M15磁力仪Z分量基线值 $Z_b$ 与地磁场Z分量日变化具有一定的相关性,形态相反;GM4磁力仪 $H_b$ 与地磁场H分量日变化具有一定的相关性,变化趋势一致。其余的基线值虽然在标定观测时段有一定的变化幅度,却没有明显的有规律的变化趋势,观测基线值与地磁场的日变化并无明显相关性。

(3)M15磁力仪 $Z_b$ 变化幅度均达到或超过0.7 nT,GM4磁力仪 $H_b$ 变化幅度均达到或超过1.0 nT,虽然变化幅度不大,但是变化趋势明显。在高精度的地磁观测中,通海台的M15磁力仪 $Z_b$ 、GM4磁力仪 $H_b$ 有相对明显的“日变化”现象。

(4)在数字化地磁观测中,随着记录仪器的灵敏度提高,仪器比较稳定,基线值变化很慢,几周之内的变化常常在0.5 nT之内,对测值的准确度的要求也相应提高;而基线值存在“日变化”现象的仪器,其基线值在一天之内的变化幅度可能超过1.0 nT;绝对观测时间应该避开地磁场日变化大的时段。

(5)计算地磁观测报告时,选用基线值除考虑绝对观测误差、记录室温度变化等,还须考虑观测日绝对观测时间段地磁场的变化情况,合理选用基线值,产出精准可靠的地磁观测资料。

(6)通海台安装在同一记录室的两套磁通门仪器记录的地磁日变化与真实日变化的误差均不相同。因此,地磁台站需要定期进行地磁相对记录仪器的标定,定量考察地磁记录仪器记录的地磁日变化的准确程度,以利于确定台站绝对观测

的合适时间段及数据的研究应用。

### 参考文献

- [ 1 ] 程安龙. 关于基线值拟合问题的讨论[J]. 地震地磁观测与研究, 1993, 14(2): 54 – 57.
- [ 2 ] 高玉芬, 程安龙, 赵永芬, 等. 地磁台基线值分析[J]. 地震地磁观测与研究, 1991, 12(2): 3 – 10.
- [ 3 ] 程安龙. 中国地磁台站现代化技术研究[J]. 地震地磁观测与研究, 1999, 20(5): 54 – 66.
- [ 4 ] Jerzy Jankowski & Christian Sucksdorff. 周锦屏, 高玉芬, 等译. 地磁测量与地磁台站工作指南[M]. 北京: 地震出版社, 1999.

## Baseline Value's Daily Variation Phenomenon of Fluxgate Geomagnetic Recorder in Tonghai Geomagnetic Observatory

Zhang Fu, Wang Xijun

(Tonghai Geomagnetic Observatory, Tonghai, Yunnan 652700, China)

**Abstract:** By calibrating the accuracy of diurnal variation of Tonghai Geomagnetic Observatory from 2009 to 2012 and analyzing the accuracy, stability and variation forms of baseline data, this paper studies the changes of baseline value along with the geomagnetic diurnal variations by considering the F-P inspection results of the geomagnetic total intensity data generated on the date of observation. The result shows there is certain correlation between HB of ZB, GM4 fluxgate magnetometer of Tonghai Geomagnetic Observatory M15 magnetometer (FGE fluxgate) and the geomagnetic field daily variation. There is daily variation phenomenon.

**Keywords:** absolute observation; daily variation calibration; baseline value; F-P inspection

<http://www.cnki.net>



论文写作，论文降重，  
论文格式排版，论文发表，  
专业硕博团队，十年论文服务经验



SCI期刊发表，论文润色，  
英文翻译，提供全流程发表支持  
全程美籍资深编辑顾问贴心服务

免费论文查重：<http://free.paperyy.com>

3亿免费文献下载：<http://www.ixueshu.com>

超值论文自动降重：[http://www.paperyy.com/reduce\\_repetition](http://www.paperyy.com/reduce_repetition)

PPT免费模版下载：<http://ppt.ixueshu.com>

---

### 阅读此文的还阅读了：

- [1. 给“懒小子”分块责任田](#)
- [2. 第一次走夜路](#)
- [3. 一屋不扫,何以扫天下?:谈班级卫生管理的艺术](#)
- [4. 马学者：中文价值日益高涨，系马来文无法取代](#)
- [5. 基于FPGA的数字磁通门信号处理](#)
- [6. 孩子卫生值日这个忙,家长帮不得](#)
- [7. CB—3型地磁记录仪在乌鲁木齐台安装调试及记录结果的初步分析](#)
- [8. 地磁台基线值分析](#)
- [9. 地磁台基线值分析](#)
- [10. 基于FSK的测斜系统电路设计](#)
- [11. 我的初一生活](#)
- [12. MAG-01H 010B\) 型磁通门地磁经纬仪](#)
- [13. 微型磁通门传感器的制备与测试研究进展](#)
- [14. 基于磁通门传感器的方位检测仪设计](#)
- [15. 《地磁长期变化》](#)
- [16. 磁通门测量原理与方法](#)



[17. 拉萨地磁台地磁场的变化](#)

[18. 基于磁通门效应的非晶丝弱磁传感器](#)

[19. 当指南针突然改变方向时](#)

[20. 对大连地磁台垂直分量基线值的分析](#)

[21. 班级管理，多招制胜](#)

[22. 基于开关电容技术的磁通门选频放大电路研究](#)

[23. 井中磁通门磁力仪探磁技术研究](#)

[24. 车速检测技术述评](#)

[25. 反常中的反思](#)

[26. 物质的性质与变化](#)

[27. 今天我值日](#)

[28. 眼保健操真乱啊](#)

[29. 现实主义的一支主脉——20世纪的中国小说纹脉之一](#)

[30. 飞行器的一种空间定向与导航的方法](#)

[31. 值日班长怎么做](#)

[32. 基于磁通门原理的高精度电流传感器的研制](#)

[33. 佘山地磁台基线值H<sub>B</sub>的日变现象](#)

[34. 地磁及相关现象](#)

[35. 磁通门与GPS复合车辆导航系统探讨](#)

[36. 磁通门传感器定向原理的探讨](#)

[37. 鲁南流磁测网资料二次拟合初探](#)

[38. 磁通门传感器在虚拟现实系统中的应用](#)

[39. 2004年车市八大现象](#)

[40. 中美商品住宅价格变化之比较](#)

[41. 提高水平井连续测斜仪方位角的测量精度](#)

[42. 借助物理实验 讲解地理难点](#)

[43. 一种新型测向传感器—磁通门罗盘](#)

[44. 一种基于传感网技术的智能停车场车位检测器方案设计与实现](#)

[45. 磁通门信号处理电路的设计与研究](#)

[46. 找个“小工”代值日](#)

[47. 市场导向型发明创造技法（三）](#)

[48. 基于FPGA的高灵敏度数字磁通门设计](#)

[49. 井斜方位仪在石油测井领域中的应用](#)

[50. 双轴磁通门传感器的仿真设计与制备](#)